

## Utilizarea modelelor de simulare urbană pentru evoluția orașului viitorului

Prep. univ. drd. Georgiana Ionela ȘTEFAN

### Abstract

*Urban systems are becoming increasingly complex as urban economies, social and political structures and norms, infrastructure systems and technologies evolve.*

*Therefore, the development of operational urban simulation models is required in order to achieve an improvement of the quality of decisions regarding urban policies as well as sustainable urban development.*

**I**nter-o lume tot mai urbanizată, dezvoltarea urbană durabilă va depinde într-o mare măsură de capacitatea managerială a orașelor și de participarea activă a cetățenilor.

În ultima decadă, orașele au fost recunoscute ca motoare ale creșterii economice, ce furnizează locuri de muncă, locuințe și servicii și constituie centre ale dezvoltării sociale și ale activităților politice. Multe industrii și servicii sunt concentrate aici, deoarece input-urile și piețele produselor sunt disponibile la scară largă [5].

În prezent, jumătate din populația lumii locuiește în orașe, deși până de curând erau considerate „binecuvântări mixte” ce conține numai un număr restrâns din populația țărilor lor. Orașele sunt amenințate de sărăcie și de degradarea mediului înconjurător, astfel grupuri mari de persoane sărace din orașe nu au acces

la serviciile de bază, la o locuință și la infrastructură. Efectele negative ale poluării crescânde a apei, solului și aerului din orașe, sunt resimțite disproporționat de populația urbei.

În aceste condiții, un oraș al viitorului poate fi imaginat ca o conurbație care oferă facilități economice, educaționale, rezidențiale, sociale, culturale etc., dar poate conține și zone dintre cele mai puțin prospere, asociate cu o gamă largă de probleme sociale. O viziune asupra orașului viitorului este una în care toți cetățenii se pot bucura de condiții bune de viață, oportunități bune de educație, muncă, conviețuire și sănătate. De aceea câmpul informațional al orașului este important să fie aliniat cât mai bine cu cel fizic, în termeni geografici ai orașului, dar și cu nevoile reale, elementare ale cetățenilor. Aceasta ar fi o posibilitate ideală de a utiliza noile tehnologii în programe de dezvoltare, iar impactul lor ar fi vizibil și măsurabil. Tehnologiile informației vor fi componente esențiale ale strategiei de dezvoltare a orașelor în viitor.

Așadar, orice viziune asupra orașului viitorului ia în considerare orașul existent în prezent, existența sa fizică, socială, economică și politică.

Orașul viitorului este un oraș bazat pe cunoaștere, un oraș în care fiecare dintre caracteristicile care coexistă în cadrul lui este dublată de o bază de informații care transmite în timp real informații către rezidenții orașului, către cei care lucrează în oraș și cei care vizitează orașul și care îi va ajuta cu informații pentru deciziile lor zilnice. În același timp, aceleași informații, vor fi completate cu alte date pentru a-i ajuta pe liderii orașului să planifice și să realizeze o revitalizare urbană susținută.

Orașul viitorului permite dezvoltarea afacerilor, în sensul accesibilității, a legăturilor bune privind transportul, existența organizațiilor de susținere și ajutor și a grupărilor industriale, disponibilitatea forței de muncă calificate, precum și o bună infrastructură tehnologică.

Orașul viitorului este un oraș „educat”. Aspirațiile orașului de a deveni oraș model al intelectualității depinde de educație. Acest oraș este un oraș „rezidențial” unde se poate trăi la fel de bine precum se poate munci.

Dacă un oraș îndeplinește toate aceste condiții, atunci el este un oraș “inteligent”, un oraș al informației.

Astfel, se impune rezolvarea unor probleme de natură urbană prin soluții care să răspundă la următoarele întrebări:

- Ce servicii sunt necesare pentru populație?
- Care este balanța optimă între oferta publică și cea privată de servicii și de facilități?
- Cum poate să intervină sectorul public pentru a oferi sau a schimba varietatea serviciilor sau pentru a crea un mediu care va atrage localnicii, oaspeții, ofertele de investiții?
- Cum s-ar putea obține echilibrul între confortul unora și disconfortul altora?

Aplicațiile ce pot să confere unui oraș caracterul de “inteligent” sunt acelea în care spațiul digital / virtual se combină cu comunitatea reală de oameni și de producători, întrucât aceștia utilizează la un nivel înalt cunoștințele și inovațiile. Ca urmare, spațiul inteligent reprezintă împletirea a două componente:

- comunitatea umană delimitată geografic care dezvoltă rețele instituționale și sociale favorabile cunoașterii și inovării;
- infrastructură bazată pe tehnologia informației peste care sunt dezvoltate instrumente de managementul cunoștințelor, al dezvoltării tehnologice și al inovării.

Orașul “inteligent” caracterizează acele arii geografice ce au abilitatea de a sprijini învățarea, dezvoltarea tehnologică, procedurile inovative și acele spații digitale utile procesării informației, instrumentelor de transfer ale cunoștințelor și tehnologiei.

Pentru ca un oraș să devină “inteligent” este necesar să interconecteze cele trei elemente de bază ale sale: aria geografică caracterizată prin cunoaștere și inovare, mediul de comunicații digitale și instrumentele sau tehnologiile destinate managementului cunoștințelor și al inovațiilor. Acest tip de oraș este unul dinamic, în care schimbarea și mișcarea sunt condiții esențiale pentru buna funcționare a orașului viitorului.

## Contextul simulărilor urbane

În ultimii ani s-a observat o creștere a interesului administrațiilor centrale și locale în ceea ce privește modernizările urbane și a consecințelor acestora asupra utilizării terenurilor [4], transporturilor urbane sau a dimensiunii mediului. Conexiunile între aceste domenii realizate prin planuri și politici publice duc la realizarea unei căi către o dezvoltare urbană susținută. Din păcate, metodele analitice disponibile se îndepărtează de dorința unei dezvoltări coerente, lasă deciziile inadecvat fundamentate, și anticipează posibilele consecințe negative la inițiativele politice sau de infrastructură.

Multe zone se confruntă cu probleme precum poluare, aglomerații în trafic [4], consum prea mare de resurse, reducerea spațiilor verzi. Instituțiile publice, prin agențiile de planificare urbană și cetățenii iau contact cu aceste probleme pe măsură ce dezvoltă și evaluează alternative pentru soluționarea acestora, precum construirea unei autostrăzi, unei căi ferate, stabilirea unei limite de creștere urbană, sau modificarea taxelor și impozitelor. Toate aceste decizii, interacționează în general într-o manieră complexă, iar cele privitoare la transport și la utilizarea terenurilor interacționează, în special, cu fiecare dintre celelalte [10].

Sistemele urbane devin din ce în ce mai complexe precum și economiile urbane, structurile și normele sociale și politice, transportul și alte sisteme de infrastructură și tehnologii elaborate. Datorită resurselor insuficiente eficiența devine foarte importantă, și într-un context democratic care implică existența mai multor stakeholderi cu valori și priorități contradictorii, nu este nici convenabil, nici potrivit să te confrunți cu folosirea abuzivă a resurselor, cu politicile de transport și cu investiții ca urmare a unor decizii izolate luate de către planificatori sau burocrăți în cadrul unei singure organizații.

Modelele matematice și teoretice au fost îndelung folosite în încercarea de a reduce complexitatea și de a înlesni înțelegerea clară și concisă a unor aspecte ale structurii urbane. În timp ce valoarea modelelor teoretice facilitează o înțelegere clară a unor principii prioritare ale dezvoltării urbane, o mare parte din această activitate devine prea simplă în ceea ce privește ipotezele și prea abstractă pentru ca valoarea sa directă să fie utilă agențiilor pentru fundamentarea deciziilor pentru politicile specifice și investițiile din cadrul sectorului urban[11][14].

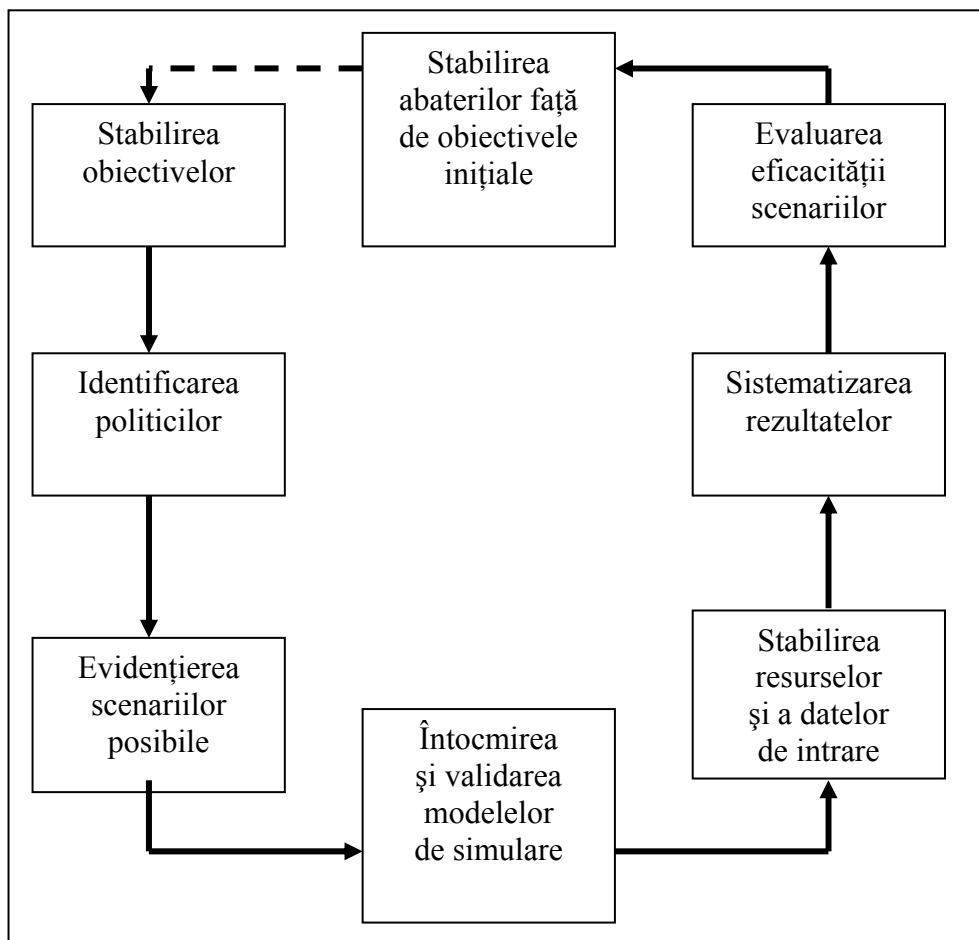
Modelele informatizate pentru simularea urbană și a utilizării abuzive a resurselor au început să fie dezvoltate și folosite în Statele Unite încă din anul 1960, în încercarea de a integra mai multe nevoi operaționale în cadrul planificării și politicii decizionale [11].

### **Proiectarea unui model de simulare urbană operațional**

Contextul și obiectivele modelării urbane au devenit mai complexe în ultimele două decenii și îmbină nevoile pentru dezvoltarea modelului urban în moduri care sunt potrivite unei ramuri a politicilor utilizării resurselor și de transport precum și interacțiunilor lor care au înființat fundamente clare și ușor de susținut în teoria comportamentală și care facilitează participarea testării unor strategii politice alternative și evaluarea lor[8][13].

Procesul de elaborare a modelului de simulare urbană urmează o serie de pași și anume: stabilirea de către agenții implicați a obiectivelor pe care și le propun să le atingă, identificarea politicilor, formularea pachetelor de politici ca mijloace de atingere a scopului, scoaterea în evidență a modalităților efective de punere în practică a politicilor (scenariile posibil de aplicat), întocmirea efectivă a modelului de simulare urbană care să analizeze efectele acestor scenarii ale politicilor stabilite[11]. Sinoptic, pașii sunt prezentați în figura 1.

Pentru a utiliza modelul de simulare se stabilesc resursele necesare și datele de intrare, iar după rularea acestuia, rezultatele sunt sistematizate și evaluate astfel încât să se observe eventualele abateri de la valoarea obiectivelor stabilite inițial și să se poată interveni (în sens pozitiv) asupra lor. Procesul este convenabil a fi repetat din mai multe motive, mai ales pentru că diverșii agenți implicați pot stabili ca posibile mai multe scenarii politice ce urmează a fi evaluate. În ultimul rând procesul conduce la o convergență a acordului asupra unui set de scopuri și unei strategii politice agreate pentru atingerea lor.



**Figura 1 Procesul de elaborare a modelului de simulare urbană**

După ce obiectivele politicii publice sunt identificate, chiar dacă rămân diferențe importante de perspective în ceea ce privește prioritatea acestora este posibil și chiar util a începe să se dezvolte criterii măsurabile pentru evaluarea progresului prin intermediul acestor obiective.

### Variante de proiectare a modelelor de simulare urbană

Există mai multe variante posibile pentru proiectarea unui model de simulare urbană, iar combinarea acestor variante micșorează alegerea abordării modelului [11][13].

În funcție de *fermitatea deciziilor*, modelul poate opera pe o scală agregată a mediei comportamentelor sau la un nivel dezagregat al comportamentului agenților individuali și poate fi determinist sau stohastic. Modelele deterministe se bazează pe valori predeterminate ale schimbării și sunt folosite de obicei împreună cu scala agregată a comportamentului, pentru că o medie a comportamentelor poate fi deseori aproximată cu o rată fixă a schimbării.

În raport cu *decizia agenților, locul și timpul* [11], mărimea unităților ce vor fi analizate sau decizia sistemului este o altă componentă importantă a proiectului. Sistemele de simulare variază de la macroscopic la microscopic în ceea ce privește decizia. *Sistemele macroscopice* sunt folosite cu ușurință, în mare parte pentru că au nevoi relativ scăzute, decurg relativ repede și utilizează relativ puțină memorie. Modelele macroscopice sunt cu precădere statistice și deterministe. *Sistemele microscopice* au o unitate mică de analiză, de exemplu un singur individ, gospodărie, vehicul, călătorie sau activitate. Modelele microscopice sunt dezvoltate deoarece cerințele lor pentru o putere considerabilă sunt satisfăcute în număr mare de calculatoarele personale, făcând aceste modele mai fezabile și ele sprijină specificații mai clare ale comportamentului decât modelele macroscopice. Aceste modele sunt cu precădere stohastice. Necesitățile de date a modelelor microscopice reprezintă încă o limită deoarece informațiile detaliate despre indivizi sunt scumpe pentru a fi adunate. *Sistemele mezoscopice* reprezintă o combinație de modele macroscopice și microscopice. Ele pot folosi decidenți mici dar perioade de timp mari, sau perioade de timp mici pentru unități cuprinzătoare ale analizei.

Modelele stohastice, în funcție de *nivelul de determinism* [11], sunt bazate pe probabilitatea distribuțiilor. Ele sunt cel mai adesea utilizate în cazul simulărilor bazate pe agent sub forma modelelor de alegere probabilistă. Ele permit agentului să aleagă la întâmplare o alternativă, ceea ce înseamnă că un agent se poate confrunta cu o situație neplăcută. Aceste modele, în general, nu au același rezultat dacă sunt folosite de două ori, dar rezultatele pot fi repetate prin fixarea aleatorie a sursei care controlează distribuția aleatorie.

Modelele pot fi statice sau dinamice în ceea ce privește *reprezentarea lor în timp* [11][14]. Modelele statice (uneori referitoare la static și echilibru) nu sunt dependente de timp, și condițiile modelului sunt fixate la o condiție generală ipotetică identificată ca fiind echilibrul pe termen lung. Modelele de echilibru presupun că sistemul începe în echilibru și se ajustează complet la factorii exogeni, ceea ce înseamnă că atinge un nou echilibru. Presupunerea unui echilibru permite, de obicei, derivarea explicită a soluției ce descrie sistemul, deși funcțiile subliniate pot fi dependente de timp. Modelele dinamice nu fac nicio presupunere în ceea ce privește echilibrul, ci se concentrează asupra ajustării proceselor în jurul timpului calendaristic. Soluția ce descrie un asemenea model este prin urmare, deseori imposibil de derivat analitic și sistemul este stimulat pentru găsirea rezultatului.

În funcție de *interacțiunea sistemului* [11][14], există interacțiuni complexe între componente în cadrul sistemului urban care sunt reprezentate în orice sistem complet urban de simulare, cum ar fi relațiile endogene între utilizarea resurselor, transport și mediu. Sistemele de simulare urbană modelează fie explicit, interacțiunile dintre utilizarea resurselor, transport și mediu, fie interferează cu modele separate de transport sau mediu. Această interacțiune sau interferență între sisteme este complexă datorită scalelor de timp diferite ale schimbărilor dezvoltării urbane, transportului și mediului.

În lucrarea sa, P. Waddell consideră arhitectura simulării urbane ca fiind formată din patru componente principale [13], prezentate în figura 2:

- modele (de tranziție, de alegere a unei locații, de dezvoltare urbană, de export, de transport, pentru modelarea prețurilor de achiziție a terenurilor etc.) care abstractizează și codifică atât comportamentul agenților implicați în simulare (precum gospodăriile, agențiile guvernamentale), cât și obiectele asupra cărora aceștia operează (precum parcelele de teren sau clădirile, infrastructurile de transport etc.);
- coordonatorul modelului de simulare care programează modelul să funcționeze și notifică agenților datele de interes care se modifică;
- „depozitul de obiecte” care mențin interesul agenților și a altor entități pentru lumea simulată;



- agregarea indicatorilor care furnizează o serie de conversii de date care să mijlocească între „depozitul de obiecte” și modelul de simulare urbană.

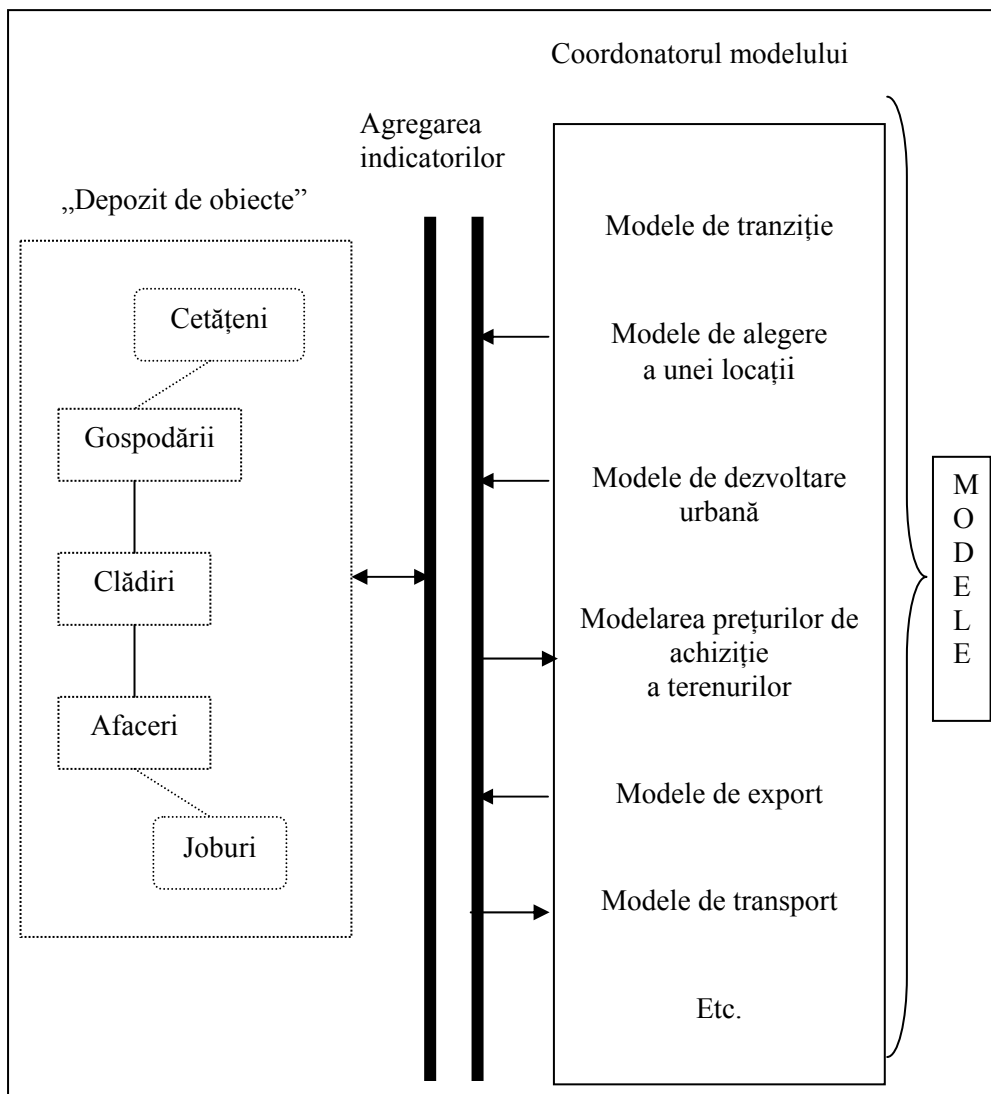


Figura 2 Arhitectura simulării urbane

În figura 3 sunt descrise la modul general scopul clar al interacțiunilor dintre gospodării, firme, producători și autorități în cadrul pieței. Producătorii utilizează terenuri pentru construcția de locuințe și spații nerezidențiale care sunt cerute de gospodării și afaceri, care interacționează, de asemenea, pe piața muncii și pe piața de bunuri și servicii. Autoritățile asigură infrastructură și servicii, reglează în unele cazuri modificările prețurilor pentru utilizarea terenurilor și infrastructurii. Acest cadru general asigură un punct de plecare pentru luarea în considerare a efectelor politicilor guvernamentale alternative și a investițiilor [11].

Agenții principali care generează sau răspund politicilor subliniate sunt gospodăriile, indivizii (cetățenii), antreprenorii, proiectanții și autoritățile. Cei care se ocupă de gospodării aleg o mulțime de variante interdependente ale stilului de viață pe termen lung, incluzând cartiere în care să se stabilească, felul imobilelor pe care să le închirieze sau să le cumpere și numărul de vehicule pe care să le dețină (Salomon, Waddell și Wegener, 2002). Indivizii din cadrul gospodăriilor își aleg forța de muncă și statutul educațional, mobilitatea și căutarea locului de muncă, programul activităților zilnice, modul de transport și ruta. Antreprenorii aleg să înceapă și să înceteze activitatea în cadrul organizațiilor și aleg locația, gradul de angajare. Proiectanții aleg să conducă proiectele de dezvoltare imobiliară, dimensiunea și locațiile acestor proiecte. Autoritățile stabilesc politici și fac investiții care influențează alegerile celorlalți agenți și de asemenea aleg variante de dezvoltare cu privire la facilitățile publice, inclusiv tipul, locația și dimensiunea dezvoltării [11][13].

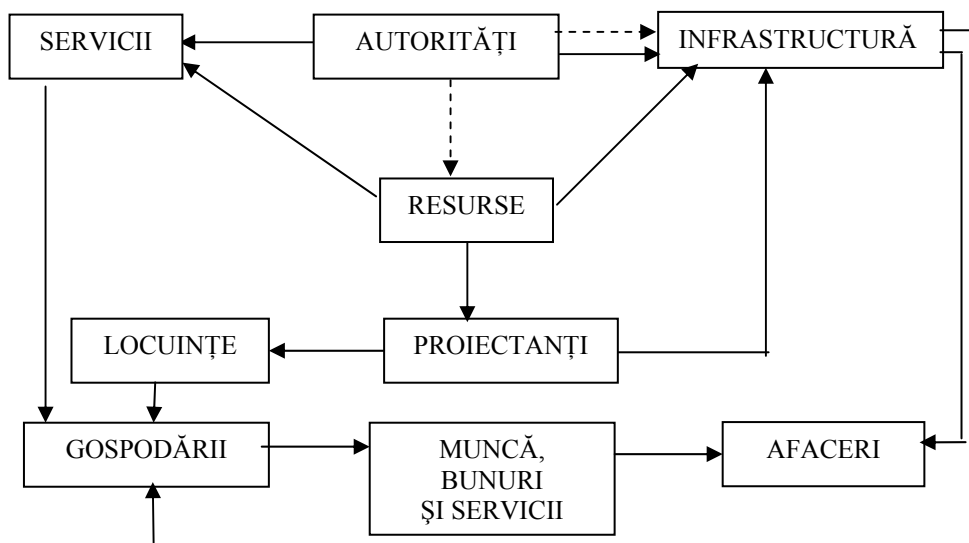


Figura 3 Piața urbană

### Testarea și punerea în funcțiune a modelului de simulare urbană

După menționarea modelelor și pregătirea datelor se impune estimarea coeficienților modelului. Metodele de estimare sunt majoritatea de genul metodei celor mai mici pătrate, metoda probabilității maxime sau simularea probabilității în cazul în care o posibilitate de formă neînchisă descrie modelul [2]. Metodele celor mai mici pătrate sunt cunoscute în toată lumea și vehiculează o varietate de forme liniare și neliniare. Multe forme neliniare pot fi convertite în forme liniare, în parametrii și pot fi folosite în regresii liniare [12].

Modelele de probabilitate sunt de obicei cel mai des estimate cu metoda verosimilității maxime, dacă funcția de verosimilitate a modelului are o reprezentare de formă închisă. Totuși, pentru probabilitățile de formă neînchisă, există metode pentru a se estima coeficienții prin utilizarea simulării probabilistice. O astfel de metodă foarte cunoscută este simularea Markov-Chain Monte Carlo, care asigură informații privind structura de incertitudine în distribuția comună a estimărilor parametrilor [6][11].

După estimarea coeficienților modelului, este necesară calibrarea modelului de simulare urbană ca întreg. Cea mai bună metodă de a face acest lucru este de a avea date complete pentru două perioade de timp. Apoi, sistemul este pus să funcționeze de la prima perioadă de timp ca stare inițială, până la a doua perioadă de timp. Rezultatele sistemului pot fi apoi comparate cu datele din acea perioadă. Acest lucru permite detectarea inexactităților și este posibil să arate erorile din proiectare.

Pentru validarea modelului este necesar ca acesta să fie derulat separat de datele care nu au fost utilizate pentru estimarea modelelor sau calibrarea sistemului. Pentru efectuarea validării, este necesar ca datele dintr-o anumită perioadă de timp să servească ca stare inițială, iar cele dintr-o perioadă de timp ulterioară să servească ca o comparație cu predicțiile modelului. Validarea este crucială pentru că dă utilizatorilor încredere în sistem. Concordanța din timpul estimării și calibrării nu reprezintă o dovadă a calității modelului, atâta vreme cât orice model poate fi făcut cu ușurință să corespundă condițiilor date [7]. Constrângerile practice privind crearea datelor istorice pentru utilizare la validare împiedică posibilitatea de realizare a validării istorice de acest fel, dar acest lucru rămâne una dintre cele mai informative modalități de a evalua modelul înainte de a-l pune în folosință.

Faza ulterioară calibrării modelului de simulare urbană o reprezintă funcționarea efectivă a modelului. Datele sunt pregătite pentru cea mai recentă perioadă de timp posibilă. Apoi, utilizatorii modelului pregătesc un scenariu de bază care conține afirmațiile cu care vor fi comparate alte scenarii. Apoi, pot fi construite scenarii alternative care conțin diferite afirmații privind politicile și condițiile macroeconomice. Pot fi incluse în scenariu oricare dintre politicile la care designul modelului și detaliile tehnice sunt sensibile[11].

## **Concluzii**

Având în vedere că niciun model nu poate prezice perfect viitorul, previziunile realizate de model sunt mult mai folositoare ca indicație a direcției probabile și a impactului efectelor unui scenariu alternativ, atunci când este comparat cu un scenariu de bază, decât pentru a fi utilizate ca un set de previziuni absolute despre viitor. În anumite aplicații ale modelului, informațiile privind

incertitudinea rezultatelor și a diferențelor dintre scenarii pot fi prezentate, la care se adaugă informații care pot fi utilizate pentru a informa alegerile decidenților.

Pentru a fi folositor în procesul decizional, este necesar ca designul modelului să integreze atent elementele discutate aici într-un design care să corespundă mediului politic și instituțional specific, în continuă schimbare și să evolueze pentru a se adapta condițiilor care se modifică. Această introducere în procesul de elaborare a modelului de simulare urbană stabilește stadiul pentru o discuție mai profundă privind detaliile tehnice și măsurile operaționale în utilizarea modelului.

În acest context simularea urbană este un sistem integrat de simulare a utilizării terenurilor, a politicilor de mediu și a infrastructurilor de transport cu scopul de a ajuta la o cât mai bună informare a deliberării publice și la fundamentarea deciziilor privitoare la aceste domenii. Este o metodă utilizată de autorități pentru formularea, dezbateră, fundamentarea și evaluarea scenariilor și consecințelor diferitelor alternative privind utilizarea terenurilor, a infrastructurilor de transport și a politicilor de mediu, provocări extraordinare adresate într-un mod satisfăcător, pentru ca în final să conducă la dezvoltare urbană durabilă.

#### Bibliografie

- 1 Askin, R.                      *Modeling and Simulation of Manufacturing Systems*,  
Standridge, C.                John Wiley & Sons Inc., S.U.A, 1993
- 2 Barra, de la T.                *Integrated Land Use and Transport Modeling*,  
Cambridge University Press: Cambridge., 1989
- 3 Barra, de la T.                *Integrated Land Use and Transportation Modeling:  
Decision Chains and Hierarchies*, Cambridge  
University Press, 1995
- 4 Borrough P.                  *Principles of Geographical Information Systems for  
Land Resources Assesment*, Oxford Universitz Press,  
1985
- 5 Crainer, S.                    *Key Management Ideas: Thinkers That Changed the  
Management*, World Pretince Hall Books. New York,  
1993

- 6      Davis, J.                      *Value Sensitive Design of Interactions with UrbanSim Indicators*, PhD thesis, Dept. of Computer Science & Engineering, University of Washington, 2006
  
- 7      Fitzner, C.  
        Grochow, K., &  
        Popovic, Z.                      *StreetScapes: Visualizing Results of Urban Simulation*, Paper presented at the IEEE Conference on Visualization Interactive Presentation, Seattle, WA, 2003
  
- 8      Mackett, R. L.                      *Micro Simulation Modelling of Travel and Locational Processes: Testing and Further Development. London: Transport Studies Group, University College London, 1992*
  
- 9      Rațiu – Suciu C.                      *Modelarea & simularea proceselor economice. Teorie și practică*, ediția a IV-a, București, Editura Economică, 2005
  
- 10     Waddell, P.                      „An Urban Simulation Model for Integrated Policy Analysis and Planning: Residential Location and Housing Market Components of UrbSim”, *8<sup>th</sup> World Conference on Transport Research Antwerp*, Belgium, 1998
  
- 11     Waddell, P.                      „Introduction to Urban Simulation: Design and development of Operational Models”, *8<sup>th</sup> World Conference on Transport Research Antwerp*, Belgium, 1998
  
- 12     Waddell, P.,  
        Borning, A.                      „A case study in digital government: Developing and applying UrbanSim, a system for simulating urban land use, transportation, and environmental impacts”, *Social Science Computer Review*, 2004

- 13 Waddell, P. „A behavioral simulation model for metropolitan policy analysis and planning: Residential location and housing market components of UrbanSim”  
*Environment and Planning B: Planning and Design*, 2000
- 14 Waddell, P. „UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning”,  
*Journal of the American Planning Association*, 2002